

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Patentschrift  
10 DE 196 07 151 C 1

51 Int. Cl. 6:  
F01 N 3/10  
B 01 D 53/94

21 Aktenzeichen: 196 07 151.8-13  
22 Anmeldetag: 28. 2. 96  
43 Offenlegungstag: —  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 10. 7. 97

DE 196 07 151 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:  
Siemens AG, 80333 München, DE

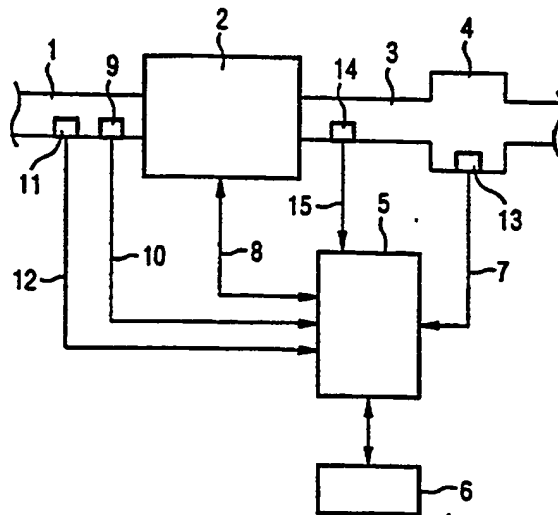
72 Erfinder:  
Schürz, Willibald, Dipl.-Ing. Dr., 93089 Aufhausen,  
DE; Achleitner, Erwin, Dipl.-Ing. Dr., 93051  
Regensburg, DE

58 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 1 95 11 548 A1  
EP 05 97 106 A1

54 Verfahren zur Regeneration eines NOx-Speicherkatalysators

57 Verfahren zur Regeneration eines NOx-Speicherkatalysators, bei dem eine Regenerationsphase gestartet wird, wenn der Speicherkatalysator mehr als eine vorgegebene Grenzmenge an NOx-Verbindungen ausstößt. Der NOx-Ausstoß wird in Abhängigkeit von der Last, der Drehzahl und weiteren Betriebsbedingungen der Brennkraftmaschine berechnet.



DE 196 07 151 C 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regeneration eines NOx-Speicherkatalysators gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

NOx-Speicherkatalysatoren werden verwendet, um bei Motorkonzepten mit magerer Verbrennung die geforderten Abgasgrenzwerte einhalten zu können. Die NOx-Speicherkatalysatoren absorbieren die bei magerer Verbrennung erzeugten NOx-Verbindungen. Da jedoch die Speicherkapazität eines NOx-Speicherkatalysators begrenzt ist, ist es notwendig eine bedarfsgerechte Regeneration des Speicherkatalysators durchzuführen. Dies erfolgt durch kurzzeitiges Betreiben des Motors mit einem fetten Gemisch, wodurch die gespeicherten NOx-Verbindungen im Katalysator abgebaut werden.

Aus der EP 0 597 106 A1 ist bereits ein Verfahren zur Regeneration eines NOx-Speicherkatalysators bekannt, bei dem die vom Speicherkatalysator absorbierte Menge an NOx-Verbindungen in Abhängigkeit von der angesaugten Luft und der Motorlast berechnet wird. Bei Überschreiten einer vorgegebenen Grenzmenge von im NOx-Speicherkatalysator gespeicherten NOx-Verbindungen wird der Brennkraftmaschine ein fettes Gemisch zur Regeneration des Speicherkatalysators zugeführt. Auf diese Weise ist jedoch ein zuverlässiges Einhalten der Abgasgrenzwerte nicht gewährleistet.

DE 195 11 548 A1 beschreibt ein Verfahren zur Regeneration eines NOx-Speicherkatalysators, bei dem die Regenerationsphase gestartet wird, wenn die vom NOx-Speicherkatalysator ausgegebene Menge an NOx-Verbindungen über einen vorgegebenen Grenzwert liegt. Die NOx-Verbindungen werden mit einem Sensor im Abgasstrom nach dem NOx-Speicherkatalysator gemessen. Bei der Regenerationsphase wird der Brennkraftmaschine ein Kraftstoffgemisch zugeführt, das einer Luftzahl  $< 1$  vor dem NOx-Speicherkatalysator entspricht.

Die Aufgabe der Erfindung beruht darin, ein Verfahren zur Regeneration eines NOx-Speicherkatalysators zur Verfügung zu stellen, das eine sichere Einhaltung der Abgasgrenzwerte gewährleistet und eine verbesserte, bedarfsgerechte Regeneration des NOx-Speicherkatalysators ermöglicht.

Die Aufgabe der Erfindung wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Ein wesentlicher Vorteil der Erfindung beruht darin, daß die Regeneration des NOx-Speicherkatalysators in Abhängigkeit vom NOx-Ausstoß gestartet wird. Auf diese Weise ist eine sichere Einhaltung der Abgasgrenzwerte gewährleistet.

Vorteilhafte Ausbildungen und Verbesserungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die Erfindung wird anhand der Figuren näher erläutert; es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Anordnung einer Brennkraftmaschine mit einem NOx-Speicherkatalysator,

Fig. 2 eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 3 ein Verfahren zur Bestimmung des NOx-Ausstoßes und

Fig. 4 ein Verfahren zur Bestimmung der Beladung des Speicherkatalysators.

Fig. 1 zeigt eine Anordnung, bei der das erfindungsgemäße Verfahren angewendet wird. Eine Brennkraftmaschine 2 ist mit einem Ansaugtrakt 1 und einem Abgastrakt 3 verbunden. Im Ansaugtrakt 1 ist ein Temperaturfühler 9 und eine Lastmeßeinrichtung 11, beispiels-

weise ein Luftmassenmesser oder ein Druckmesser, angeordnet. Die Brennkraftmaschine 2 umfaßt eine Einspritzanlage mit einer Ventilanordnung und einen Kühlkreislauf. Der Abgastrakt 3 führt zu einem NOx-Speicherkatalysator 4, an dem ein Temperatursensor 13 angeschlossen ist. Der NOx-Speicherkatalysator 4 wird im folgenden kurz als Speicherkatalysator 4 bezeichnet. Weiterhin ist ein Steuergerät 5 mit einem Speicher 6 dargestellt, wobei das Steuergerät 5 über eine Lastmeßeinrichtung 12 mit der Lastmeßeinrichtung 11, über eine Temperaturmeßeinrichtung 10 mit dem Temperaturfühler 9, über eine Daten- und Steuerleitung 8 mit der Brennkraftmaschine 2 und über eine Meßeinrichtung 7 mit dem Temperatursensor 13 verbunden ist. Zudem ist eine Lambdasonde 14 in den Abgastrakt 3 vor dem Speicherkatalysator 4 eingebracht und über eine zweite Meßeinrichtung 15 mit dem Steuergerät 5 verbunden.

Fig. 2 zeigt schematisch ein Verfahren zur Bestimmung der NOx-Rohemission NR. Das Steuergerät 5 überprüft bei Programmpunkt 20 vorzugsweise eine oder mehrere Startbedingungen, bevor weitere Berechnungen erfolgen. Dabei wird zuerst überprüft, ob sich die Brennkraftmaschine im Betriebszustand "Start" befindet. Ist dies der Fall, so wird keine weitere Berechnung durchgeführt, sondern abgewartet, bis die Brennkraftmaschine 2 den Betriebszustand "Start" verlassen hat. Weiterhin wird überprüft, ob eine Nachstartsteuerung der Brennkraftmaschine 2 vorliegt. Ist dies der Fall, wird mit weiteren Berechnungen so lange gewartet, bis die Nachstartsteuerung beendet ist. Zudem wird noch überprüft, ob die Katalysatortemperatur KT größer als ein vorgegebener Mindestwert ist. Ist dies der Fall, so wird noch überprüft, ob die Luftzahl im Abgas vor dem Katalysator einen Wert größer als 1 aufweist. Sind die genannten Bedingungen erfüllt, so wird nach Programmpunkt 21 verzweigt. In einer einfachen Ausführung kann auch auf die bei Programmpunkt 20 abgefragten Bedingungen verzichtet werden.

Bei Programmpunkt 21 wird die Berechnung der NOx-Rohemission NR oder der korrigierten NOx-Rohemission NRK durchgeführt. Dies wird anhand eines Unterprogrammes, das in Fig. 3 dargestellt ist, ausgeführt.

Nach Programmpunkt 21 folgt bei Programmpunkt 22 die Abfrage, ob die NOx-Emission NA, die den Speicherkatalysator 4 verläßt, größer als ein vorgegebener Grenzwert NE ist. Ist dies der Fall, so wird nach Programmpunkt 23 verzweigt. Die NOx-Emission NA wird nach folgender Formel berechnet:

$$NA(n) = NRK(n) \cdot TA \cdot (1 - KEK(n)) \cdot (1 - NO),$$
 wobei NRK die korrigierte Rohemission, TA das vorgegebene Zeitintervall zwischen den Zeitpunkten n und n + 1, KEK den korrigierten Speicherwirkungsgrad, und NO einen Korrekturfaktor darstellt, der den Anteil der NOx-Emissionen berücksichtigt, der durch den Speicherkatalysator 4 chemisch reduziert wird. In einer einfachen Ausbildung der Erfindung wird anstelle der korrigierten NOx-Rohemission NRK die NOx-Rohemission NR verwendet werden.

Nach Berechnung der NOx-Emission NA(n) erfolgt die Abfrage, ob die NOx-Emission NA(n) den Grenzwert NG überschreitet. Ist dies nicht der Fall, so wird nach Programmpunkt 20 zurückverzweigt. Überschreitet jedoch die NOx-Emission NA(n) den Grenzwert NG, so wird bei Programmpunkt 23 die Regeneration des Speicherkatalysators 4 eingeleitet, in der der Brennkraftmaschine 2 ein Kraftstoff/Luftgemisch zugeführt

wird, das im Abgastrakt 3 vor dem Speicherkatalysator 4 zu einer Luftzahl kleiner als 1 führt. Anschließend wird zu Programmpunkt 20 zurückverzweigt.

Fig. 3 zeigt einzelne Schritte des Programmpunktes 21 zur Berechnung der NO<sub>x</sub>-Rohemission NR. Bei Programmpunkt 30 erfolgt die Abfrage, ob die im Abgastrakt 3 vor dem Speicherkatalysator 4 gemessene Luftzahl  $\lambda$  größer als ein vorgegebener Startwert LS, beispielsweise 1,0 ist. Ist dies nicht der Fall, so wird nach Programmpunkt 20 zurückverzweigt. Ergibt jedoch die Abfrage bei Programmpunkt 30, daß die Luftzahl  $\lambda$  größer als der vorgegebene Startwert LS ist, so wird bei Programmpunkt 31 aus einem last- und drehzahlabhängigen ersten Kennfeld die NO<sub>x</sub>-Rohemissionsmasse NR ausgelesen. Das erste Kennfeld ist im Speicher 6 abgelegt. In einer einfachen Ausführung der Erfindung kann nach der Abarbeitung des Programmpunktes 31 zu Programmpunkt 22 zurückverzweigt werden. Eine Verbesserung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird jedoch dadurch erreicht, daß mindestens einer der Programmschritte 32, 33, 34 oder 35 durchgeführt wird.

Bei Programmpunkt 32 wird ein Zündwinkelkorrekturfaktor KZ für eine Korrektur der NO<sub>x</sub>-Rohemissionsmasse NR, unter Berücksichtigung des Parameters Zündwinkel berechnet. Dazu wird zuerst aus dem Speicher 6 aus einem zweiten Kennfeld, das in Abhängigkeit von der Last und der Drehzahl einen Sollzündwinkel ZS enthält, entsprechend der Last und der Drehzahl der Brennkraftmaschine 2 der vorgegebene Sollzündwinkel ausgelesen und der aktuelle Zündwinkel ZG wird gemessen. Zudem wird aus einem dritten Kennfeld in Abhängigkeit von der Last und der Drehzahl der Brennkraftmaschine 2 ein Korrekturfaktor KF aus dem Speicher 6 ausgelesen. Anschließend wird der Zündwinkelkorrekturfaktor KZ nach folgender Formel berechnet:

$$KZ = 1 + KF \cdot (ZG - ZS)$$

Anschließend wird nach Programmpunkt 36 oder nach Programmpunkt 33 verzweigt.

Bei Programmpunkt 33 wird ein Luftzahlkorrekturfaktor KL für eine Korrektur der NO<sub>x</sub>-Rohemission NR ermittelt, bei dem die Luftzahl  $\lambda$  berücksichtigt wird. Dazu wird aus einem vierten Kennfeld in Abhängigkeit von der Last und der Drehzahl eine entsprechend der Last und der Drehzahl der Brennkraftmaschine 2 vorgegebene Sollluftzahl LS ausgelesen. Zudem wird die tatsächliche Luftzahl LG gemessen. Anschließend wird eine Differenzluftzahl LD nach folgender Formel berechnet:

$$LD = LS - LG$$

Anhand der Differenzluftzahl LD und der Motorlast ML wird aus einem fünften Kennfeld im Speicher 6 ein Luftzahlkorrekturfaktor KL ausgelesen.

Anschließend wird entweder nach Programmpunkt 36 oder nach Programmpunkt 34 verzweigt.

Bei Programmpunkt 34 wird ein Temperaturkorrekturfaktor FT berechnet, bei dem die Kühlwassertemperatur TL und die Ansauglufttemperatur TA berücksichtigt werden. Anhand der Kühlwassertemperatur TL und der Ansauglufttemperatur TA wird aus einem sechsten Kennfeld, das im Speicher 6 abgelegt ist, ein Temperaturkorrekturfaktor FT ausgelesen. Anschließend wird nach Programmpunkt 36 oder nach Programmpunkt 35 verzweigt.

Bei Programmpunkt 35 wird ein Korrekturfaktor für

die Ventilüberschneidung für eine Korrektur der NO<sub>x</sub>-Rohemission NR unter Berücksichtigung der Ventilüberschneidung bei der Einspritzung berechnet. Dazu wird aus einem siebten Kennfeld, das im Speicher 6 abgelegt ist, ein Sollwert VS in Abhängigkeit von der Last und der Drehzahl für die Ventilüberschneidung ausgelesen und die Differenz zu einem gemessenen Wert VG für die Ventilüberschneidung berechnet. Aus der Differenz  $VD = VS - VG$  wird aus einem achten Kennfeld in Abhängigkeit von der Motorlast ML und der Differenz VD der Ventilüberschneidung eine Korrekturfaktor KV für die Ventilüberschneidung ausgelesen. Anschließend wird nach Programmpunkt 36 verzweigt.

Bei Programmpunkt 36 wird die Korrektur der NO<sub>x</sub>-Rohemission NR durchgeführt. In Abhängigkeit von den durchgeführten Programmpunkten 32–35 werden die darin berechneten Korrekturfaktoren berücksichtigt.

Werden alle in Fig. 3 dargestellten Programmpunkte durchgeführt, so ergibt sich für die korrigierte NO<sub>x</sub>-Rohemission NRK folgender Wert:

$$NRK = NR \cdot KZ \cdot KL \cdot FT \cdot KV.$$

Ein Fachmann wird bei der Berechnung der korrigierten NO<sub>x</sub>-Rohemission NRK die Anzahl der zu berücksichtigenden Korrekturfaktoren entsprechend den Gegebenheiten wählen, so daß in einfachen Verfahren die NO<sub>x</sub>-Rohemission z. B. nur mit Temperaturkorrekturfaktor KT korrigiert wird, so daß sich für die korrigierte NO<sub>x</sub>-Rohemission NRK folgende Berechnung ergibt:

$$NRK = NR \cdot KT.$$

Nach der Berechnung der korrigierten NO<sub>x</sub>-Rohemission NRK wird nach Programmpunkt 22 zurückverzweigt.

In Fig. 4 ist schematisch die Berechnung des Beladungszustandes des Speicherkatalysators 4 dargestellt, der vorzugsweise als Startbedingung für eine Regenerationsphase für den Speicherkatalysator 4 verwendet wird. Bei Programmpunkt 40 berechnet das Steuergerät 5 den Speicherwirkungsgrad KE des Speicherkatalysators 4. Der Speicherwirkungsgrad KE wird in Abhängigkeit von der angesaugten Luftmasse LM und dem Beladungsgrad KB des Speicherkatalysators aus einem neunten Kennfeld im Speicher 6 ausgelesen. Der Beladungsgrad KB des Speicherkatalysators berechnet sich aus der aktuellen Beladung KA bezogen auf die Speicherkapazität KS des Speicherkatalysators 4 durch folgende Formel:  $KB = KA/KS$ .

Die Speicherkapazität KS wird aus einem zehnten Kennfeld im Speicher 6 ausgelesen, das von der Katalysatortemperatur KT und der bereits erfolgten Anzahl von Regenerationsphasen SZ abhängt. Die Regenerationsphasen, bei denen dem Speicherkatalysators 4 fettes Gemisch zugeführt wird, um die NO<sub>x</sub>-Speicherung abzubauen, werden vom Steuergerät 5 gezählt und im Speicher 6 als Regenerationszahl abgelegt.

Der Speicherwirkungsgrad KE wird vorzugsweise in Abhängigkeit von der Katalysatortemperatur KT und in Abhängigkeit von den bereits erfolgten Ladezyklen SZ korrigiert, wobei aus einem elften Kennfeld, das von den bereits erfolgten Ladezyklen SZ und der Katalysatortemperatur KT abhängt, ein Korrekturwert KS ausgelesen und der Speicherwirkungsgrad KE damit multipliziert wird:

KEK = KE · KS,

wobei KEK den korrigierten Speicherwirkungsgrad darstellt.

Anschließend wird bei Programmpunkt 41 die aktuelle Beladung KA des Speicherkatalysators 4 nach folgender Formel berechnet:

$$KA(n) = KA(n) + NRK(n) \cdot TA \cdot KEK(n) \cdot 1(1 - NO),$$

wobei mit KA(n) die Beladung zum Zeitpunkt n, mit KA(n-1) die Beladung zu dem Zeitpunkt n-1, mit NRK die korrigierte NOx-Rohemission, mit TA der Zeitabstand zwischen zwei Berechnungszeitpunkten n und n-1, mit KEK der korrigierte Speicherwirkungsgrad und mit NO ein Korrekturfaktor bezeichnet ist, der den Anteil der NOx-Emissionen, die durch den Speicherkatalysator 4 chemisch reduziert werden, berücksichtigt.

Anschließend erfolgt bei Programmpunkt 42 die Abfrage, ob die aktuelle Beladung KA größer als eine vorgegebene Mindestbeladung KAM ist. Ist dies der Fall, so wird bei Programmpunkt 43 eine Regenerationsphase für den NOx-Speicherkatalysator 4 gestartet. Ist dies nicht der Fall, so wird nach Programmpunkt 40 zurückverzweigt. Nach Durchführung der Regenerationsphase wird von Programmpunkt 43 nach Programmpunkt 40 zurückverzweigt.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung beruht darin, eine Beladungsermittlung des Speicherkatalysators 4 während einer Regenerationsphase durchzuführen, um die Regenerationsphase rechtzeitig abzubrechen. Während der Regenerationsphase wird die Beladung des Speicherkatalysators 4 um einen Wert KD dekrementiert und die Regenerationsphase wird beendet, wenn die Katalysatorbeladung KA unter einen vorgegebenen Schwellwert fällt. Das Dekrement wird aus einem zwölften Kennfeld ausgelesen, das von der Ansaugluftmasse LM und der vor dem Speicherkatalysator 4 im Abgastrakt 3 gemessenen Luftzahl LG abhängt. Die aktuelle Katalysatorbeladung wird in festgelegten Zeitabständen wie folgt berechnet:

$$KA(n) = KA(n-1) - KD,$$

wobei KD das aus dem Kennfeld ausgelesene Dekrement, KA(n) die Beladung zum Zeitpunkt n und KA(n-1) die Beladung zum Zeitpunkt n-1 darstellt.

In dem Speicher 6 ist ein Speicherfeld vorgesehen, in dem die Anzahl der bisher abgelaufenen Regenerationsphasen gezählt und nichtflüchtig als Regenerationszahl abgespeichert werden. Um jedoch den Austausch eines Speicherkatalysators 4 zu berücksichtigen, ist im Speicher 6 ein Bit vorgesehen, das mit Null oder Eins belegt werden kann, wobei bei einer Belegung mit Null die Regenerationszahl auf Null festgelegt wird und die Regenerationsphasen von Null ausgehend wieder hochgezählt werden.

Eine genauere Zählung der Regenerationsphasen wird dadurch erreicht, daß auch die Regenerationsphasen mitgezählt werden, die durch ein fettes Kraftstoffgemisch bei Instationärbetrieb, d. h. z. B. bei Beschleunigung, durchgeführt werden.

Die Regenerationsphasen werden beispielsweise mit der Lamdasonde 14 im Abgastrakt 3 vor dem Speicherkatalysator 4 detektiert ( $\lambda < 1$ ) und von dem Steuergerät 5 gezählt und als Regenerationszahl im Speicher 6 abgespeichert.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Regeneration eines NOx-Speicherkatalysators (4), bei dem abhängig von einem Betriebszustand des NOx-Speicherkatalysators (4) eine Regenerationsphase gestartet wird, bei der ein Kraftstoffgemisch der Brennkraftmaschine zugeführt wird, das einer Luftzahl kleiner als 1 vor dem NOx-Speicherkatalysator (4) entspricht, wobei der Betriebszustand mindestens einer Grenzmenge von NOx-Verbindungen entspricht, die vom NOx-Speicherkatalysator (4) ausgegeben wird, dadurch gekennzeichnet, daß die vom NOx-Speicherkatalysator (4) abgegebene Menge an NOx-Verbindungen aus mindestens einem Kennfeld ermittelt wird, das von der Last und/oder der Drehzahl der Brennkraftmaschine (1) abhängt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Betriebszustand mindestens einer Grenzspeicherung von NOx-Verbindungen im NOx-Speicherkatalysator (4) entspricht.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die abgegebene Menge an NOx-Verbindungen in Abhängigkeit vom Zündwinkel und/oder von der Luftzahl und/oder von der Kühlwassertemperatur und/oder von der Ansauglufttemperatur und/oder von einer Ventilüberschneidung korrigiert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Wert für die Grenzspeicherung der Beladungszustand des NOx-Speicherkatalysators (4) in Abhängigkeit vom Speicherwirkungsgrad des NOx-Speicherkatalysators (4) berechnet wird, wobei der Speicherwirkungsgrad abhängig von der Anzahl der bereits durchgeführten Regenerationsphasen korrigiert wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Beladungszustand des NOx-Speicherkatalysators (4) während der Regenerationsphase überprüft wird und die Regenerationsphase unterbrochen wird, wenn der Beladungszustand unter eine vorgegebene Mindestbeladung fällt.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

FIG 1

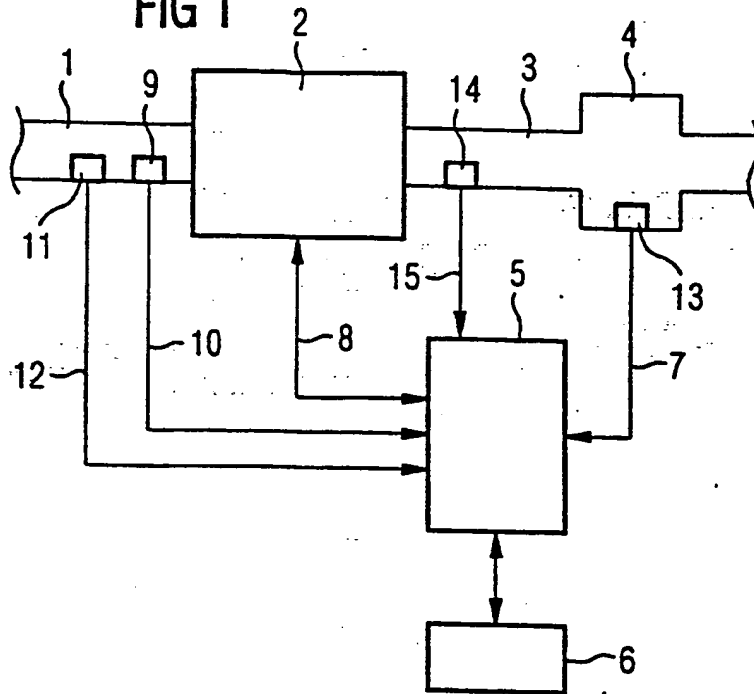


FIG 2

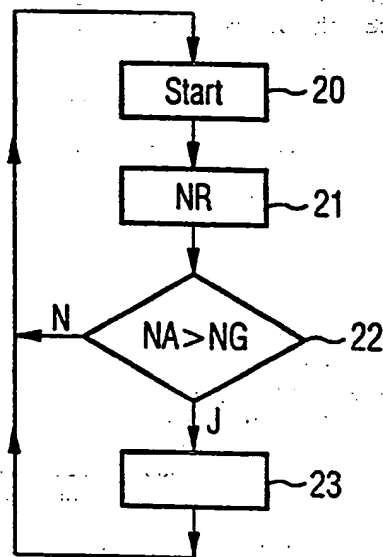


FIG 3

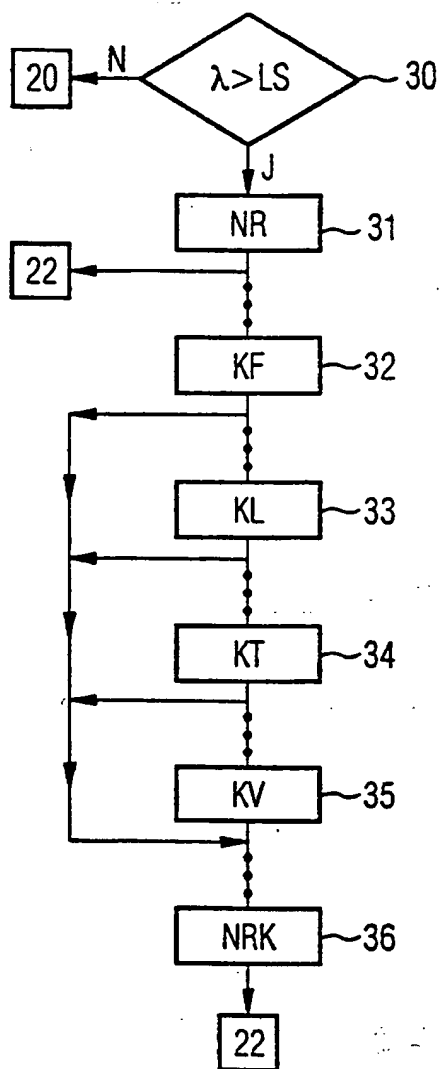


FIG 4

